

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

FITOREMEDIASI DAN PROSPEK APLIKASINYA DI INDONESIA



Pidato

**Disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia Farmasi
pada Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
di Surabaya pada hari Sabtu, tanggal 13 Desember 2003**

Oleh

Sugijanto

TAS GGA
/10

FITOREMEDIASI DAN PROSPEK APLIKASINYA DI INDONESIA



Pidato

**Disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia Farmasi
pada Fakultas Farmasi Universitas Airlangga
di Surabaya pada hari Sabtu, tanggal 13 Desember 2003**

**Oleh
Sugijanto**

“... Barangsiapa bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan mengadakan jalan ke luar. Dan memberinya rejeki dari arah yang tiada disangka-sangkanya. Dan barangsiapa yang bertawakkal kepada Allah niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)-nya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan (yang dikehendaki) Nya. Sesungguhnya Allah telah mengadakan ketentuan bagi tiap-tiap sesuatu.”

(Q.S. Ath Thalaq 2-3).

Dan apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu pelbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?

(Q.S. Asy Syu'aro' 7)

Bismilla-hirrahma-nirrahi-m

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Assala-mu 'alaikum warahmatulla-hi wabaraka-tuh

Yang terhormat,

Saudara Ketua dan Anggota Dewan Penyan-tun Universitas Airlangga,
Saudara Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Universitas Airlangga,
Saudara Rektor dan Pembantu Rektor Universitas Airlangga,
Saudara-saudara Dekan dan Pembantu Dekan Fakultas di Lingkungan
Universitas Airlangga,
Rekan-rekan sejawat dan Sivitas Akademika Universitas Airlangga,
para undangan dan hadirin yang saya hormati

Segala puji bagi Allah, Penguasa alam semesta. Kami panjatkan
puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia
hidayah-Nya, sehingga kita dapat menghadiri dan menyaksikan acara
peresmian pengukuhan jabatan saya sebagai Guru Besar dalam bidang
Ilmu Kimia Farmasi di Fakultas Farmasi Universitas Airlangga.

Melalui mimbar akademik yang mulia ini, perkenankanlah
saya menyampaikan pidato pengukuhan dengan judul:

FITOREMEDIASI

DAN PROSPEK APLIKASINYA DI INDONESIA

PIDATO GURU BESAR

SUGIJANTO

PENDAHULUAN

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Seiring dengan meningkatnya industrialisasi, meningkat pula banyaknya limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di Indonesia. Hilman (1996) dari BAPEDAL, menjelaskan bahwa besarnya koefisien jumlah limbah B3 per orang/tahun berkisar antara 4-9 kg. Diasumsikan rata-rata setiap orang menghasilkan limbah B3 sebesar 5 kg/orang/tahun, berarti limbah B3 yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2003 lebih dari sejuta ton.

Di Jawa Timur terdapat ratusan ribu industri, meliputi industri kecil, aneka industri, industri kima dasar dan industri logam dasar. Di Gerbangkertosusila terdapat lebih dari 2.000 unit industri kecil meliputi industri tekstil, elektroplating dan industri kulit. Limbah industri elektroplating dan kulit mengandung logam berat, dan kebanyakan dibuang ke lingkungan, beberapa diantaranya tanpa/ dengan pengolahan yang masih belum memenuhi syarat baku mutu air limbah (BAPEDAL-LPPM UNAIR, 1992). Selain itu, di Jawa Timur lebih dari 720 industri berada di sekitar Sungai Brantas yang panjangnya sekitar 320 km dan meliputi daerah aliran sungai seluas 12.000 km². Kebanyakan industri tersebut membuang limbahnya ke S. Brantas (Roedjito, 1994). Keadaan ini sangat memprihatinkan karena tidak hanya di Jawa Timur, bahkan di berbagai tempat sudah nampak adanya cemaran logam berat di lingkungan kita. Djajadiningrat dan Amir melaporkan dalam "Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 1992", bahwa beberapa sungai di pulau Jawa, Sumatera dan Kalimantan telah tercemar logam berat.

Hadirin yang terhormat,

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Di Fakultas Farmasi Universitas Airlangga (FFUA) juga telah dilakukan beberapa penelitian cemaran logam berat di lingkungan, antara lain adanya Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} dan Zn^{2+} di dalam air sumur sekitar sungai Tambak Oso Surabaya (Razak *et al.*, 1986); Cd^{2+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} dan Pb^{2+} di dalam kerang di pantai desa Tepen Gresik (Menik, 1987); adanya Cd^{2+} dan Hg^{2+} dalam beberapa hewan laut di muara sungai Kalimas (Sugijanto *et al.*, 1991); Cd^{2+} dan Cu^{2+} dalam ikan gelodok dan sedimen di muara kali Jagir (Sugiharto, 1995) serta di dalam damar pohon api-api di pantai Kenjeran (Sahwan, 1995). Memperhatikan hal ini timbul pertanyaan, bagaimana cara mengatasi/mengeliminir cemaran tersebut, mengingat selama ini ketentuan-ketentuan pokok pengelolaan lingkungan hidup telah diterapkan sejak 1982, dan untuk rencana kegiatan yang diduga menimbulkan dampak penting sudah diwajibkan AMDAL (dengan dokumen Kerangka Acuan, ANDAL, RKL dan RPL).

Di dalam simposium “Bioremediation through Rhizosphere Technology” tahun 1993, yang disponsori oleh “The American Chemical Society”, dari berbagai makalah menunjukkan bahwa rhizosphere menyediakan suatu kompleks lingkungan mikro yang dinamik, dimana bakteri dan jamur berasosiasi dengan akar-akar tanaman dapat mendegradasi, memineralkan dan menstabilkan toksikan; suatu strategi bioremediasi untuk pengolahan berbagai bahan kimia berbahaya di dalam lingkungan. Pada saat yang hampir bersamaan, kultur jaringan tanaman juga digunakan untuk studi

bioremediasi (Zikmundova *et al.*, 1995). Kultur suspensi sel *Datura innoxia* mampu menyerap ion-ion barium, besi dan plutonium, serta memetabolisir TNT dan senyawa eksplosive dari limbah militer (Jackson *et al.*, 1990 dan Jackson *et al.*, 1993). Jackson dkk mendapatkan: "U.S. Patent No. 5.120.441. - Removal of Metal Atoms from Aqueous Solution using Suspended Plant Cells". Kultur akar rambut *Solanum nigrum* mampu melakukan biodegradasi PCB (polychlorinated biphenyl) (Mackova *et al.*, 1997).

Hadirin yang terhormat,

Sejak tahun 1996, di Fakultas Farmasi juga kami rintis penelitian akumulasi Sr^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} serta respon yang terjadi pada berbagai kultur jaringan tanaman (KJT). Adanya ion-ion logam ternyata dapat menstimulasi pembentukan metabolit sekunder pada sistem KJT, dan pada sisi lain (sel) tanaman dapat menarik ion logam berat dari medianya, sehingga terjadi bioremediasi; dengan demikian, selain tanaman utuhnya, KJT juga dapat melakukan bioremediasi dan dapat digunakan untuk eksperimen fitoremediasi (Indrayanto, 1997).

FITOREMEDIASI

Fitoremediasi adalah pemanfaatan tanaman untuk mengekstraksi, menghilangkan dan atau mendetoksikasi polutan dari lingkungan hidupnya (Meagher, 2000). Fitoremediasi merupakan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang relatif baru, sering juga dikenal dengan istilah bioremediasi, bioremediasi

botanikal, remediasi hijau (Chaney *et al.*, 1997), dan teknologi hijau (Becker, 2000). Polutan dapat diremediasi tanaman melalui absorpsi, transpor dan translokasi. Dalam fitoremediasi, tanaman digunakan untuk mengekstraksi dan menghilangkan senyawa logam toksik termasuk radioaktif dari tanah atau air, menghilangkan senyawa organik toksik dan mungkin juga melakukan mineralisasi (Macek *et al.*, 2000). Secara alami tanaman mempunyai kemampuan mengatasi gangguan atau stress dari luar, karena adanya mekanisme sistem pertahanan diri terhadap stress. Ada berbagai macam stress, yakni stress medium, fisik, kimiawi dan infeksi; yang menyebabkan stress kimiawi antara lain ion-ion logam (Brodelius, 1988).

Kemampuan tanaman untuk merespon stress dapat beragam; ada yang peka, tidak mampu mengatasi stress dan ada yang tahan terhadap stress karena mempunyai mekanisme pencegahan sehingga toleran terhadap stress dan mengakumulasi ion-ion logam dalam bagian organ-organnya (Hopkins, 1999). Tanaman dianggap sebagai *hiperakumulator* apabila mampu mengakumulasi ion logam 100 kali dibanding tanaman non akumulator; akumulasinya $> 1000 \mu\text{g.g}^{-1}$ (0,1 %) BK, kecuali untuk Cu^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} dan Se^{2+} ($100 \mu\text{g.g}^{-1}$), Pb^{2+} ($500 \mu\text{g.g}^{-1}$), Au^{2+} ($1 \mu\text{g.g}^{-1}$) dan Zn^{2+} ($10.000 \mu\text{g.g}^{-1}$) (Brooks *et al.*, 1998). Tanaman yang mampu melakukan hiperakumulasi penting untuk fitoremediasi (Chaney *et al.*, 1997; Meagher, 2000), bahkan ada yang dimanfaatkan untuk “phytomining” (Brooks *et al.*, 1998).

Penelitian fitoremediasi sebelum diaplikasikan di lapangan, perlu dikaji secara mendasar karena terkait dengan kemampuan

remediasinya, terjadinya metabolit/perubahan senyawa B3 yang diremediasi, kemungkinan terbentuknya senyawa berharga, metabolit sekunder (fitoaleksin) dan senyawa fitokhelatin (pembentuk khelat dengan ion logam), serta enzim yang berperan dalam mekanisme detoksifikasi B3; sehingga tidak hanya untuk keperluan remediasi B3, tetapi juga nilai tambah yang dihasilkan dan yang mungkin dapat dimanfaatkannya.

EKSPERIMEN FITOREMEDIASI MENGGUNAKAN KJT

Kultur jaringan tanaman (KJT) seperti halnya tanaman induknya, ada yang mampu menyerap berbagai mineral dan ion-ion logam yang ada di dalam media atau lingkungan tempat tumbuhnya, serta mengakumulasi dalam bagian organ-organnya. Selain tanaman utuhnya, KJT juga dapat digunakan untuk studi/eksperimen fitoremediasi (Zikmundova *et al.*, 1995; Gori *et al.*, 1998; Macek *et al.*, 2000).

Kultur jaringan tanaman merupakan sistem yang dapat diatur sesuai kondisi laboratorium yang dikehendaki, tidak tergantung iklim dan seringkali tumbuh lebih cepat (Macek *et al.*, 2000); adanya pengaruh perubahan salah satu faktor terhadap kultur *in vitro* dapat diamati dengan seksama. Sebagai contoh, kultur suspensi sel tanaman *Datura innoxia* dan *Citrus citruss* mampu menyerap ion-ion logam barium, besi dan plutonium dari larutan, serta memetabolisir TNT dan senyawa eksplosive dari limbah senjata militer (Jackson *et al.*, 1990 dan Jackson *et al.*, 1993). *Brassica juncea* mengakumulasi Pb^{2+} , Cr^{2+} ,

Zn^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} dan Ni^{2+} dalam jaringan akarnya (Raskin *et al.*, 1994), kultur akar rambut *Armoraceae rusticana* mengakumulasi Cu^{2+} dan Hg^{2+} (Zikmundova *et al.*, 1995). Hasil seleksi kultur kalus *Nicotiana tabacum* yang toleran, dapat diregenerasi menjadi kultur pucuk yang tahan hidup terhadap Cu^{2+} 6,4 ppm (Gori *et al.*, 1998).

Eksperimen fitoremediasi menggunakan KJT *Agave amaniensis*

Grup riset Bioteknologi Tanaman Fakultas Farmasi Universitas Airlangga, yang semula (sejak 1985) melakukan penelitian produksi metabolit sekunder dengan berbagai faktor yang mempengaruhinya (Indrayanto *et al.*, 1996, 1998 dan 1999), akhirnya berkembang dan sejak 1996 membentuk grup riset baru Bioteknologi Lingkungan, terutama untuk melakukan berbagai eksperimen fitoremediasi terhadap logam menggunakan KJT. Berikut ini kami sampaikan rangkuman hasil penelitian dari grup riset kami.

Kultur suspensi *A. amaniensis* dapat tetap hidup pada media yang mengandung Cu^{2+} 10 sampai 240 μM (IP = 2,2 – 1,1), dan mampu melakukan remediasi dengan mengambil Cu^{2+} antara 67-100 % dari media dan mampu mengkumulasi Cu^{2+} sampai 186 $\mu\text{g/g}$ BK pada biomasanya (Sugijanto *et al.* 2002). Kultur *A. amaniensis* tersebut menunjukkan sifat yang lebih toleran terhadap Cu^{2+} dibanding kultur kalus *Nicotiana tabacum* (resistan terhadap Cu^{2+} 100 μM) (Gori *et al.*, 1998).

Kultur suspensi *A. amaniensis* dapat hidup pada media yang mengandung Cd^{2+} (10-25 mg/l; IP = 2,3-2,1) dan Pb^{2+} (10-40 mg/l; IP

= 2,8-3,1). Kultur *A. amaniensis* tersebut lebih toleran terhadap Cd^{2+} dibandingkan dengan kultur pucuk *Bacopa moniera* (Cd^{2+} 5,6 mg/l) (Ali *et al.*, 1998) dan *Silene vulgaris* (Pb^{2+} 20 mg/l) (Leopold *et al.*, 1999). Akumulasi ion-ion pada biomasa ini mencapai kadar Cd^{2+} sampai 900 $\mu\text{g/g}$ dan Pb^{2+} 1400 $\mu\text{g/g}$ BK. Berdasarkan batasan dari Brooks *et al.* (1998), maka kultur *A. amaniensis* bersifat "hiperakumulator" terhadap Cu^{2+} , Cd^{2+} dan Pb^{2+} , karena mengakumulasi $\text{Cu}^{2+} > 100 \mu\text{g/g}$, $\text{Cd}^{2+} > 100 \mu\text{g/g}$ dan $\text{Pb}^{2+} > 500 \mu\text{g/g}$ BK. Sementara itu kemampuan remediasinya tertinggi mencapai 45% (Cd^{2+}) dan 79 % (Pb^{2+}) pada 7 hari inkubasi (Sugijanto *et al.*, 2002^a). Bila inkubasi dilanjutkan sampai 14 hari, remediasi tertinggi mencapai 96 %, sedangkan akumulasi Pb^{2+} maksimal 1558 $\mu\text{g/g}$ (Sugijanto *et al.*, 2002^b). Adanya Cd^{2+} dan Pb^{2+} ternyata menyebabkan kandungan hekogenin kultur suspensi *A. amaniensis* menurun secara signifikan.

Penelitian dengan mikroskop elektron pada kultur suspensi *A. amaniensis* menunjukkan bahwa adanya penambahan Cu^{2+} menyebabkan dinding sel kelihatan lebih berkerut dan ketebalan dinding sel akan meningkat secara bermakna di banding kontrol. Pada medium yang mengandung Cu^{2+} 160 μM dinding sel menebal sampai 5 kali (Sugijanto *et al.*, 2002). Berdasarkan pengamatan makroskopis terhadap kultur suspensi *A. amaniensis*, baik pada media kontrol tanpa Cd^{2+} maupun dengan Cd^{2+} hingga 10 mg/l, nampak tumbuh dan warnanya putih kekuningan. Sedangkan pada media Cd^{2+} 15 mg/l ke atas tampak warnanya menjadi kuning kecoklatan. Pada perlakuan dengan Pb^{2+} hingga 40 mg/l secara makroskopis semua warnanya

putih kekuningan. Di dalam studi histokimiawi menggunakan pereaksi asam nitrat dan natrium sulfida, Cd^{2+} maupun Pb^{2+} tidak terdeteksi di dalam bagian sel-sel kultur suspensi (Sugijanto *et al.*, 2002^a).

Di dalam media yang mengandung Cu^{2+} 5-10 mg/l, beberapa asam amino termasuk Pro, Asp, Ser, Glu, Gly, Ala, Val, Ile, Hylys dan Lys meningkat rata-rata di atas 200 % lebih besar dibanding kontrol. Kadar asam amino di dalam biomassa tidak berbeda secara nyata, kecuali pada konsentrasi Cu^{2+} 10 ppm, Pro meningkat 183,9 % (Sugijanto *et al.*, 2002). Peningkatan kandungan asam amino kemungkinan dimaksudkan untuk mengantisipasi adanya stress akibat Cu^{2+} , yang mana Cu^{2+} diikat asam-asam amino atau protein membentuk metallothionein atau fitokhelatin kompleks dan selanjutnya dapat ditransfer menuju ke berbagai bagian dari sel. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Ali *et al.*, 1998; Krämer *et al.*, 1996) bahwa penambahan ion logam berat di dalam media dapat menginduksi terbentuknya asam-asam amino tertentu.

Eksperimen fitoremediasi menggunakan KJT *Solanum laciniatum* dan *Solanum mammosum*

Kultur pucuk *S.laciniatum* (sl-4) dapat tumbuh dalam media dengan Sr^{2+} 25-200 mg/l ($\text{IP} > 2,8$), mampu meremediasi lebih dari 50 % Sr^{2+} dari media dan mengakumulasi Sr^{2+} di dalam biomasanya hingga 0,13 % BK. Hal ini menunjukkan bahwa kultur pucuk *S. laciniatum* ini bersifat “hiperakumulator” karena mengakumulasi Sr^{2+} > 0,1% (Brooks *et al.*, 1998; Baker, 1999). Penelitian ini, juga

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

menunjukkan bahwa akumulasi Sr^{2+} tertinggi tersebut 14 kali lebih besar dibandingkan pada tanaman *Solanum* seperti yang dilaporkan Filov *et al.* (1993). Sistem pembuluh dari *S. laciniatum* yang tumbuh di dalam media yang mengandung Sr^{2+} nampak lebih berkembang dibanding kontrol (1,5 kali), hal serupa juga pernah dilaporkan Gori *et al.* (1998), pada tanaman tembakau yang toleran terhadap Cu^{2+} . Pada media dengan Sr^{2+} 50 dan 100 ppm, ternyata kandungan solasodina pada kultur pucuk ini meningkat menjadi 1,6 dan 1,4 kali dibanding tanpa pemberian Sr^{2+} (Sugijanto *et al.*, 2001).

Penambahan Cd^{2+} (5-20 mg/l, IP = 4,4-2,8), Hg^{2+} (10-50 mg/l; IP = 4,6-1,7) dan Pb^{2+} (10-40 mg/l; IP = 3,8-3,2) pada media ternyata relatif tidak berpengaruh pada IP kultur pucuk *S. laciniatum* (sl-7) dan sitosterol pada biomasanya, tetapi kandungan solasodina meningkat 3 kali pada penambahan Cd^{2+} 10 mg/l dan hampir 2 kali pada Hg^{2+} 50 mg/l dan Pb^{2+} 10 mg/l (Sulistiyowati, 1999). Seperti halnya perlakuan Sr^{2+} , sistem pembuluh dari *S. laciniatum* (sl-7) yang tumbuh di dalam media yang mengandung Cd^{2+} nampak lebih berkembang dibanding kultur yang tumbuh pada medium tanpa Cd^{2+} . Kultur pucuk *S. laciniatum* (sl-7) meremediasi Cd^{2+} sebesar 57-63% dari media yang mengandung Cd^{2+} 5-20 mg/l. Kultur ini bersifat “hiperakumulator”, karena dapat mengakumulasi Cd^{2+} sampai 633 $\mu\text{g/g}$ BK pada media dengan Cd^{2+} 20mg/l. (Sugijanto, 2003).

Adanya Zn^{2+} 10-80 mg/l ternyata dapat meningkatkan IP kultur pucuk *S. laciniatum* (sl-7), tertinggi pada Zn^{2+} 40 mg/l meningkat 1,5 kali dibanding kontrol. Pada media dengan Zn^{2+} 20-80

mg/l terjadi peningkatan kandungan solasodin hingga 3,2 kali. Kadar sterol bebas meningkat 2,2 kali pada media yang mengandung Zn^{2+} 40 mg/l. Kultur pucuk sl-7 ini mampu melakukan remediasi dan mengakumulasi Zn di dalam biomasnya hingga 2091 $\mu\text{g/g}$ BK (Sugijanto *et al.*, 2003^a).

Pada kultur pucuk *S. mammosum* (kode sm-1), adanya Cd^{2+} (5-20 mg/l; IP = 4,9-3,8) dapat meningkatkan kadar sterol bebas total sebanyak 2,7-2,3 kali dibandingkan medium tanpa Cd^{2+} (Puspitasari, 1999). Hg^{2+} (10-20 mg/l; IP = 6,3-4,3) dapat meningkatkan kadar sterol total pada kultur pucuk *S. mammosum* (kode Sm-23) 1,3-2,0 kali (Aini, 1999), sedangkan peningkatan kandungan ion Cu^{2+} (5-40 mg/l; IP = 6,5-2,3) justru menurunkan kandungan sterol bebasnya (sekitar 75%).

Kultur pucuk *S. mammosum* (sm-23), mampu tumbuh dalam media yang mengandung Cu^{2+} 5-40 mg/l (IP = 6,5-2,3), dan mengakumulasi Cu^{2+} di dalam biomasnya hingga 415 $\mu\text{g/g}$ BK pada medium dengan Cu^{2+} 40 mg/l. Karena itu kultur ini juga bersifat "hiperakumulator" Cu^{2+} . Kultur suspensi *S. mammosum* (sm) tahan terhadap Cu^{2+} hingga 20 mg/l (IP = 2,2) dan kultur pucuknya tahan hingga Cu^{2+} 40 mg/l (IP = 2,3) ini menunjukkan bahwa kultur pucuk lebih toleran dibanding kultur suspensinya (Sugijanto, 2003).

Kultur pucuk *S. mammosum* (sm-23) yang dikultivasi pada media tanpa Cu^{2+} menunjukkan pemucatan warna daun bahkan agak menguning dan pada pemberian Cu^{2+} 40 mg/l warnanya agak kehitaman. Hal ini kemungkinan disebabkan karena peran Cu^{2+} antara

lain diperlukan dalam proses fotosintesis dan terkait dengan kegiatan kloroplast. Adanya Cu^{2+} berlebih, dapat menghambat pertumbuhan dan meningkatkan kandungan pigmen (Macksymiec, 1997). Berdasarkan pengamatan morfologis-histologis, gambaran mikroskopis irisan penampang melintang batang kultur pucuk *S. mammosum*, nampak adanya penebalan pada sistem pembuluhnya, tetapi tidak terjadi pelebaran silinder pusatnya (Sugijanto, 2003)

Eksperimen fitoremediasi menggunakan KJT *Costus speciosus*

Kultur suspensi *C. speciosus* (F-8) dapat hidup dengan baik pada media yang mengandung Cd^{2+} (5-20 ppm; IP = 1,4-1,7) dan Pb^{2+} (10-40 ppm; IP = 2,0 -3,6). Fenomena yang menarik dan perlu di kaji lebih mendalam adanya peningkatan IP sekitar 40-70 % dengan penambahan Pb^{2+} pada media sebesar 10-30 mg/l. Bentuk mikroskopis dan makroskopiknya relatif tidak berubah. Kultur suspensi ini bahkan mengakumulasi Cd^{2+} sampai 533 $\mu\text{g/g}$ BK dan Pb^{2+} sampai 1167 $\mu\text{g/g}$ BK, sehingga dapat menjadi “hiperakumulator” Cd^{2+} dan Pb^{2+} (dapat mengakumulasi > 100 atau 500 $\mu\text{g/g}$ BK) dan mampu menarik sekitar 17- 38 % ion-ion tersebut dari medianya. Penambahan Pb^{2+} 10-30 ppm dapat meningkatkan kadar sterol total hampir 2 kalinya (Sugijanto *et al.*, 2002^a).

Kultur kalus *Costus speciosus* (F8) tahan terhadap Cu^{2+} hingga 20 mg/l (IP = 3,7). Pada media kontrol (kadar Cu^{2+} pada media MS = 0,006 ppm) dan dengan medium menggunakan Cu^{2+} 10 mg/l, semua tumbuh baik (IP = 5,7 dan 5,2) dan warnanya putih, sedangkan pada

media dengan Cu^{2+} 20 mg/l nampak warnanya agak kecoklatan.

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Secara mikroskopis masih sulit terdeteksi adanya perbedaan di antara kultur kontrol dan perlakuan. Kultur ini lebih toleran dibanding kultur kalus *Nicotiana tabacum* yang resistan terhadap Cu^{2+} hingga (6,4mg/l) yang dilaporkan Gori *et al.* (1998), maupun kultur kalus *Acer pseudoplatanus* (yang tidak tahan terhadap $\text{Cu}^{2+} \geq 20$ mg/l) (Turner dan Dickinson, 1993). Rata-rata remediasinya antara 30 % (Cu^{2+} 20 ppm) dan 59 % (Cu^{2+} 1 ppm), akumulasinya antara 42 $\mu\text{g/g}$ BK dan 594 $\mu\text{g/g}$ BK; di sini juga nampak terjadinya "hiperakumulasi" Cu^{2+} (Sugijanto, 2003). Cu^{2+} (2,5 mg/l) dapat meningkatkan kadar sterol total 1,8 kali, sedangkan Cu^{2+} (5-20 mg/l) menyebabkan penurunan kadar total sterol 70-40 % (Kusumaeni, 2000).

Penambahan limbah cair *elektroplating* dalam medium (tertinggi mengandung Cu^{2+} 5 mg/l dan Pb^{2+} 10 mg/l) pada kultur pucuk *C. spesiosus* (F-8), ternyata menurunkan kadar diosgenin menjadi 88 % dan sterol total menjadi 47 %, disertai peningkatan asam amino Glu menjadi 130 % dibanding kontrol, sedangkan IP meningkat 40 %. Kultur pucuk ini mampu melakukan remediasi terhadap Cu^{2+} hingga 86,12 % dan Pb^{2+} hingga 65,97 % dari medianya (Sugijanto *et al.*, 2002^c). Pada media dengan kadar Cu^{2+} 1-20 mg/l maupun Pb^{2+} 5-40 mg/l, semua kultur pucuk masih mampu tumbuh dengan IP > 1,3 dan secara mikroskopis semua kultur berwarna hijau, kecuali adanya $\text{Cu}^{2+} > 5$ mg/l dan $\text{Pb}^{2+} > 10$ mg/l, nampak agak memucat. Adanya Pb^{2+} (5- 20 mg/l) mempengaruhi peningkatan kadar sterol bebas, tertinggi sampai 3 kali dibandingkan kontrol pada

perlakuan Pb^{2+} 5 mg/l. Adanya Pb^{2+} (5– 40 mg/l) mempengaruhi kadar diosgenin pada kultur pucuk *Costus speciosus* Koen dan terjadi peningkatan sampai 3 kali dan 5 kali dibandingkan kontrol pada perlakuan Pb^{2+} 20 mg/l dan 30 mg/l. Sedangkan penambahan Cu^{2+} 1– 20 mg/l justru terjadi penurunan kadar diosgenin. Penurunan terendah terjadi pada media perlakuan dengan penambahan Cu^{2+} sebesar 20 mg/l, yakni hingga 0,1 kali dibandingkan dengan kontrol (Sugijanto *et al.*, 2003).

APLIKASI FITOREMEDIASI

Di berbagai belahan dunia, para ilmuwan berpacu melakukan berbagai penelitian yang terkait dengan lingkungan, dengan memanfaatkan tanaman maupun KJT, untuk mengatasi berbagai cemaran yang terjadi, melakukan studi fitoremediasi dan penerapannya, maupun untuk menghasilkan produk yang ramah lingkungan. Pada 27 Juli 1990 di Jepang didirikan RITE (Research Institute of Innovative Technology for the Earth), yang melibatkan kerjasama pihak industri, akademik dan pemerintahan, untuk mempromosikan “New Earth 21”, dengan program aksi abad 21. Tujuannya melakukan riset untuk menghasilkan teknologi industri maju yang ramah lingkungan (RITE, 1995). Di Amerika, menurut EPA lebih dari 30.000 tempat yang memerlukan penanganan, karena adanya bahan berbahaya (termasuk logam berat). “Edenspace Systems Corporation” telah berhasil mengembangkan teknologi fitoremediasi (fitoekstraksi) dan mengkomersialkannya, untuk

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

mengekstraksi timah hitam, arsen, uranium, radionuklida dan mineral lain, mampu membersihkan polutan dari tanah dan air, sehingga lingkungan menjadi bersih dan sehat. Edenspace mempunyai sebelas paten yang berhubungan dengan fitoekstraksi, hiperakumulasi dan rhizofiltrasi. Edenspace bersama Fujita Corporation mengadakan kolaborasi untuk mengintroduksi teknologi fitoremediasi dan memasarkannya di Jepang (Edenspace, 2002). Edenspace antara lain telah berhasil memperbaiki lingkungan di Trenton, New Jersey yang terkontaminasi Pb; menerapkan rhizofiltrasi memakai jasa tanaman bunga matahari untuk menghilangkan Uranium di Ashabula, Ohio; menangani radionuklida Sr dan Ce di Chernobyl, Ukraina; membersihkan Cd dan Zn di Findlay, Ohio; mereduksi ammonium dan nitrat dari air limbah pembangkit listrik di Florida (Edenspace, 2002). Cheng (2003) meneliti cemaran berbagai logam berat di China, antara lain di daerah aliran sungai Yangtze, juga merekomendasikan untuk menggunakan jasa fitoremediasi untuk membersihkan cemaran logam berat tersebut.

PROSPEK APLIKASI FITOREMEDIASI DI INDONESIA

Di Indonesia, banyak sekali industri besar, kecil dan menengah yang tersebar di seluruh Nusantara, maka kemungkinan terjadinya cemaran B3 (termasuk logam berat) di lingkungan, juga sangat besar; apalagi masih kurang ketatnya penegakan hukum dan disiplin masyarakat, serta kurangnya kepedulian terhadap pelestarian lingkungan. Berdasarkan data dari BPS Statistik Indonesia (2000),

produksi non BBM dan gas alam, pada tahun 1999 antara lain tercatat: Batubara (64.602.100 ton), bauksit (1.116.300 ton), nickel ores (3.235.300 ton), emas (129.032 kg), perak (292.331 kg), pasir besi (562.300 ton), tembaga (2.645.200 ton), timah (47.753 metrik ton). Kami yakin masih banyak lagi yang belum atau tidak tercatat; demikian pula berbagai produk B3 beserta limbahnya dari bahan organik. Hal ini memerlukan penanganan lebih serius di masa mendatang, agar anak cucu kita masih bisa menikmati indahnya alam Indonesia dan hidup dalam lingkungan yang sehat. Pembangunan berwawasan lingkungan dan berkelanjutan haruslah tetap dipertahankan agar tidak terjadi kerusakan lingkungan yang tidak kita kehendaki. Salah satu upaya yang dapat melengkapi pengelolaan lingkungan, termasuk AMDAL dan penerapannya, adalah dengan mengintroduksi dan mengaplikasikan fitoremediasi di lingkungan; untuk itu diperlukan kerjasama antara pihak industri, perguruan tinggi dan pemerintah.

Belajar dari pengalaman negara maju, yang telah menerapkan berbagai cara untuk membersihkan lingkungan, dengan pengolahan limbah secara fisika, kimia, biologis (aerob dan anaerob), maupun gabungannya, serta pembakaran limbah dan lainnya, ternyata mereka masih memerlukan teknologi fitoremediasi untuk membersihkan lingkungan. Berdasarkan pengalaman mereka, menunjukkan bahwa teknologi fitoremediasi termasuk ramah/tidak merusak lingkungan, tidak memerlukan tempat pembuangan yang luas, mudah diterima masyarakat, dapat dilakukan di daerah yang terpencil, biaya relatif

murah, dapat mengurangi beban energi dan transportasi. Fitoremediasi cukup luas penggunaannya; dapat dimanfaatkan untuk membersihkan kontaminan/polutan organik maupun anorganik di lingkungan terutama logam berat dan radionuklida, baik pada air, sedimen, tanah maupun udara (Macek *et al.*, 2000).

Ensley, Presiden Phytotech di New Jersey menyarankan penggunaan fitoremediasi untuk membersihkan tanah yang terkontaminasi logam berat maupun bahan eksplosif. Salah satu proyek EPA dengan cara pencucian, untuk membersihkan 19.000 ton tanah yang terkontaminasi diperlukan biaya lebih dari \$ 7 juta, berarti sekitar \$ 400 tiap ton tanah (1 ton setara dengan 1 m³). Biaya dengan insinerator sebesar \$ 400 - \$ 1.200 per ton (untuk yang eksplosif). Bahkan proyek insinerasi tanah yang terkontaminasi B3 di Idaho mencapai \$ 4.000 per ton. Bandingkan dengan perkiraan biaya fitoremediasi yang dilakukan Levine untuk membersihkan logam berat dan radioaktif dari tanah hanya sebesar \$ 80/yard³ (Black, 1995).

Selain keuntungan seperti tersebut di atas, dari beberapa contoh tanaman yang mempunyai kemampuan remediasi, banyak diantaranya terdapat di Indonesia, antara lain: *Arabidopsis* (untuk Hg), *Brassicaceae* (*Indian Mustard* dan *Broccoli*)(untuk Se, S, Pb, Cd, Cr, Ni, Zn, Cu, Ce dan Sr), *Compositae* (untuk Ce dan Sr), bunga matahari (untuk Ce, Sr dan U), kapas (untuk pestisida, atrazine, TCE, CCl₄, TNT dan RDX) (Belz, 1997). Pada umumnya tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi dipilih yang mampu dan mudah tumbuh di lingkungan tercemar, tidak memerlukan pengelolaan dan

peralatan yang rumit. Hal lain yang perlu diperhatikan, sebaiknya tidak menggunakan tanaman pangan. Dari penelitian kami, kemungkinan yang dapat dikembangkan pemanfaatannya antara lain Agave, Solanum dan Costus. Selain itu masih banyak tanaman atau tumbuhan yang kemungkinan dapat digunakan untuk fitoremediasi, mengingat sangat banyaknya plasma nutfah dan sangat kayanya sumber hayati yang ada di Indonesia. Apa yang kita lakukan hari ini, akan sangat bermakna bagi kehidupan di muka bumi; mengingat hanya ada satu bumi dan merupakan karunia Allah SWT yang kita pinjam dari anak cucu kita, yang harus kita lestarikan. Untuk itu diperlukan kerjasama dari berbagai pihak untuk penelitian dan aplikasinya di Indonesia. Sekian terima kasih atas perhatiannya, semoga Allah SWT meridloi apa yang telah kita upayakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Hadirin yang terhormat,

Saya menyadari, bahwa perjalanan karir akademik saya sampai pada tingkat sekarang ini, tidak mungkin tercapai tanpa pertolongan, bimbingan, perlindungan dan rahmat-karunia Allah yang dilimpahkan pada kami; oleh karena itu kami sampaikan segala puji syukur kehadirat Nya, dan solawat serta salam semoga dilimpahkan kepada N. Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya. Saya juga menyadari bahwa rahmat Allah yang berlimpah terwujud melalui kasih sayang dan didikan orang tua, guru dan bantuan serta dorongan

dan nasehat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankanlah saya mengucapkan terima kasih kepada mereka semuanya.

Kepada Pemerintah Republik Indonesia, melalui Menteri Pendidikan Nasional, saya sampaikan terima kasih atas kepercayaan yang diberikan kepada saya untuk memangku jabatan Guru Besar dalam bidang Ilmu Kimia Farmasi.

Dalam kesempatan ini saya sampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada: Prof. Dr. Med. H. Puruhito, dr. selaku Rektor Universitas Airlangga dan Ketua Senat, beserta para Pembantu Rektor dan para anggota Senat Universitas Airlangga, Dekan Fakultas Farmasi Universitas Airlangga, Prof. Dr. H. Noor Cholies Zaini, Apt., beserta para Pembantu Dekan, Ketua dan Sekretaris Jurusan/Bagian Kimia Farmasi, dan Senat Fakultas Farmasi Unair, atas persetujuan, pengusulan dan penerimaan saya sebagai Guru Besar di lingkungan Universitas Airlangga.

Pada kesempatan ini, saya sampaikan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Noor Cholies Zaini sebagai Promotor yang telah memberikan wawasan dan dorongan semangat untuk penyelesaian program Doktor, sekaligus sebagai Dekan yang mendorong saya untuk mengusulkan jabatan Guru Besar.

Terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Prof. Dr. Gunawan Indrayanto selaku Ko-promotor yang telah memberikan bimbingan dan arahan, sehingga saya dapat menyelesaikan Disertasi dan telah memberikan pengalaman yang sangat berharga untuk menulis dalam jurnal internasional.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Hermien Hadiati

Koeswadji, SH yang telah banyak membimbing dan memberi contoh dalam “manajemen SDM” sewaktu di PPLH-Lemlit UNAIR dan bersama-sama melakukan berbagai penelitian AMDAL dan lingkungan secara inter disipliner. Demikian pula saya sampaikan terima kasih kepada teman-teman sejawat di PPLH-Lemlit UNAIR.

Terima kasih saya sampaikan kepada: Prof. Soemadi, Drs. Apt. yang telah banyak memberikan dorongan untuk mengembangkan ilmu yang saya tekuni; juga kepada H. Harjana, Drs. MSc., Apt. yang pertama kali membimbing saya dan mengajak melakukan penelitian; kepada H. Achmad Inoni, Drs. Apt dan Hj. Moetobingatoen , Dra. Apt. yang telah membimbing saya; juga kepada rekan-rekan sejawat dan laboran eks Lab. Analisis Farmasi yang telah banyak membantu saya; demikian juga kepada H. Achmad Mufied, Drg., SKM beserta staf di LPKM UNAIR, yang banyak berkorban dan memberi kesempatan saya menyelesaikan S3.

Pada kesempatan ini saya sampaikan terima kasih kepada guru-guru saya di SR Mojorejo II Madiun, guru-guru saya di SMP Negeri I Madiun dan SMA Negeri I Madiun, khususnya kepada Bapak H. Alimuddin sebagai guru agama dan yang mendorong saya melanjutkan kuliah di UNAIR. Terima kasih saya sampaikan kepada para dosen, staf, karyawan dan mahasiswa yang telah membantu dan bekerjasama di Fakultas Farmasi Unair, selama saya kuliah S1 s.d. S3 hingga mendapatkan jabatan sekarang ini.

Kepada Prof. Dr. Med. H. Muhammad Amin, dr. selaku

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Direktur Program Pascasarjana UNAIR, serta Prof. Dr. H. Soedijono Tirtowidarjo, dr. mantan Direktur Program Pascasarjana UNAIR, yang telah memberikan kesempatan dan berbagai kemudahan untuk mengikuti pendidikan S-3; serta para staf, karyawan dan mahasiswa, terima kasih saya sampaikan atas bantuan & kerjasamanya.

Terima kasih saya sampaikan kepada Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia yang telah memberi kesempatan belajar dan berkenan memberikan bantuan finansial, melalui TMPD; kepada Kantor Menristek-DRN-BAPPENAS-LIPI-BPPT atas dana Penelitian Riset Unggulan Terpadu (RUT V); kepada Direktur Ditbinlitabmas Dirjen Dikti Depdiknas atas dana Proyek Penelitian Dasar dan Hibah Bersaing X/1 dan X/2, sehingga memperlancar penelitian grup riset kami. Melalui dana tersebut telah membantu meluluskan S3 saya, 2 mahasiswa S2 serta 15 mahasiswa S1 dan menghasilkan 2 paper dimuat dalam jurnal nasional dan 3 paper dalam jurnal internasional; untuk itu saya sampaikan terima kasih kepada semua mahasiswa, staf dan karyawan yang terlibat dalam penelitian ini.

Kepada Dekan FFUA, dan Saudara Dr. H. Achmad Syahrani, MS. selaku Ketua Panitia Pengukuhan serta seluruh anggota, saya beserta keluarga mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuannya sehingga upacara ini dapat berjalan dengan lancar. Demikian pula kepada rekan-rekan sejawat, para dosen, karyawan dan mahasiswa yang telah ikut memberikan doa restu dan ikut merasa bahagia dengan pengangkatan saya ini, saya sampaikan terima kasih.

Hadirin yang terhormat,

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

Perkenalkanlah saya menyampaikan terima kasih kepada keluarga kami, khususnya orang tua kami Bp. Randiman Kartosentono dan Ibu Laminem (almarhum) yang telah membesarkan, memberi bekal, bimbingan dan mendidik dengan tauladan kesabaran dan keuletan, memberi kebebasan berpikir dan arahan bertawakkal kepada Allah SWT, dan doa restunya; serta kepada ibu mertua Hj. Syarifah Fatimah atas doa restu untuk keberhasilan kami. Demikian pula kepada Saudara-saudaraku beserta keluarganya: Mas Suhardi dan Mas Suwito dan adik-adikku Sudjijatmi, Sudjito, Sudarmi dan Agus Nur Hadi, serta Muhammad Ayub, Ali Zainal Abidin dan Irwan Rahadian Hakim, terima kasih atas pengertian, bantuan dan doanya selama ini.

Terima kasih tak terhingga saya sampaikan kepada istri tercinta Noor Erma Sugijanto, yang telah banyak berkorban, dengan penuh perhatian dan pengertian, serta dengan setia mendampingi dan memberikan semangat serta berdoa untuk keberhasilan saya; demikian pula kepada anak-anak kami: Rahmat Hidayat dan Kurnia Sofia Rosyada yang kami sayangi, yang penuh pengertian dan ikut berdoa memberikan semangat selama ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat dan karunia Nya serta menuntun di jalan ketaqwaan kepada Nya.

Semoga Allah SWT membalas kebajikan dari semua pihak, yang telah membantu saya, dengan limpahan kasih sayang, petunjuk dan pahala yang berlipat ganda. Terima kasih atas kesabaran Saudara sekalian dan mohon maaf apabila ada kata-kata saya yang tidak berkenan di hati. *Wassalamu 'alaikum warohmatullahi wabarokatuh.*

DAFTAR PUSTAKA

ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga

- Aini A., 1999. Pengaruh ion Hg^{2+} terhadap pertumbuhan dan kandungan fitosteroid dari kultur pucuk *Solanum mammosum* L. (SM-23). Skripsi, Fakultas Farmasi Universitas Airlangga.
- Ali G, Iqbal M, Srivastava PS, 1998. Interactive Effect of Cd and Zn on the Morphogenic Potential of *Bacopa monniera* (L.) Wettst. Plant Tissue Culture and Biotechnology Vol 4 No. 3-4 : 159-164.
- Baker AJ, 1999. Metal hyperaccumulator plants: a review of biological resource for possible exploitation in the phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry N, Bañuelos GS, eds. Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, pp 85-107.
- BAPEDAL-LPPM UNAIR, 1993. "Studi Pembentukan Unit Organisasi Pengolah-an Limbah", Kajian Analisis Ekonomi serta Organisasi dan Manajemen Pengolahan Limbah Terpusat di Cerme Jawa Timur. Kerjasama antara Badan Pengendalian Dampak Lingkungan RI dengan Lembaga Pengabdian Pada Masyarakat Unair, Surabaya.
- Becker H, 2000. Phytoremediation: Using Plants to Clean up Soils. Agricultural Research. ARS. <http://www.nps.ars.usda.gov/programs/cppvs.htm>
- Belz KE, 1997. Phytoremediation. Groundwater Pollution Primer, CE 4594: Soil and Groundwater Pollution, Civil Engineering Dept, Virginia Tech. http://www.ce.vt.edu/program_areas/environmental/teach/gwprimer/phyto/phyto.html
- Black H, 1995. Absorbing Possibilities: Phytoremediation. Environmental Health Perspectives 103 (12) Innovations. <http://ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/1995/103-12/innovations.html>

BPS, 2000. Statistics Indonesia, Production of Non Petroleum and Natural Gas by Kind of Mineral, 1990-2000. <http://www.bps.go.id/sector/minning/table2.shtml>

Brodelius P, 1988. Stress Induces Secondary Metabolism in Plant Cell Cultures. In (Pais MSS, Mavituna F, Novais JM, eds). Plant Cell Biotechnology, NATO ASI Ser. Vol. H 18, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, pp 195-209.

Brooks RR, Chambers MF, Nicks LJ, Robinson BH, 1998. Phytomining. Perspectives 3: 359-362.

Chaney RL, Malik C, Li YM, Brown SL, Angle JS, Baker AJM, 1997. Phytoremediation of Soil Metals. Current Opinions in Biotechnology 8: 279-284.

Cheng S, 2003. Heavy metal pollution in China: origin, pattern and control. Environ Sci Pollut Res Int 10 (3): 192-198

Djajadiningrat ST, Amir HH, 1992. Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia 1992. 20 tahun Setelah Stockholm. Kantor Meneg KLH, Jakarta, hlm 56-58, 89-90.

Edenspace, 2002. Edenspace overview. Edenspace System Corporation. <http://www.edenspace.com/02-25-2002.html>

Filov VA, Bandman AL, Ivin BA, 1993. "Lead and Its Compounds" in : Harmful chemical substances, Vol. 1, Elements in groups I – IV of the periodic table and their inorganic compounds, Chichester, England : Ellis Horwood Ltd, pp.159-169.

Gori P, Schiff S, Santandrea G, Bennici A, 1998. Response of in vitro cultures of *Nicotiana tabacum* L. to copper stress and selection of plants from Cu tolerant callus. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 53 : 161-169

Hopkins WG, 1999. *Introduction to Plant Physiology*, 2nd edn. New York Chichester Weinheim Brisbane Singapore Toronto: John Wiley & Sons Inc., pp.269-272.

Indrayanto G, 1997. Aplikasi Teknik Kultur Jaringan Tanaman untuk Produksi Metabolit Sekunder. Temu Ilmiah Regional Hasil Penelitian Biologi dan Pendidikan Biologi/IPA, UNTAG Surabaya.

Indrayanto G, Utami W, Syahrani A, 1996. *Agave amaniensis* Trel & Nowell . In Vitro Cultures and the Production of Phytosteroids. In (YPS Bajaj, ed) *Medicals & Aromatic Plants IX*, Press IV Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 37: 1-15.

Indrayanto G, Sondakh R, Syahrani A, Utami W, 1998. *Solanum mammosum* L (Terong Susu): in vitro cultures and the production of secondary metabolites. In: Bajaj YPS (ed), *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol 41. *Medicinal and Aromatic Plants X*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, pp 394-414.

Indrayanto G, Utami W, Syahrani A, 1999. *Costus speciosus* (Koenig) J.E.Smith: In vitro cultures, micropropagation, and the production of diosgenin and other phytosteroids. In: Bajaj YPS (ed), *Biotechnology in Agriculture and Forestry*, vol 43. *Medicinal and Aromatic Plants XI*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, pp 57-77

Jackson PJ, Tores AP, Delhaize E, Pack E, Bolende SL, 1990. The Removal of Barium Ions from Solution using *Datura innoxia* Suspension Culture. *J. Env Quality* 19: 644 - 648.

Jackson PJ, De Witt JG, Kuske CR, 1993. Accumulation of Toxic Metal Ions by Components of Plant Suspension Cell Cultures. Abstract P-34. *In Vitro Cell Dev Biol*, pp 29A, 42A.

Krämer U, Cotter-Howells JD, Charnock JM, Baker AJM, Smith JAC, 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379: 635-638.

Kusumaeni T, 2000. Pengaruh kadar ion Cu^{2+} terhadap pertumbuhan dan kandungan fitosteroid dari kultur kalus *Costus speciosus* (Koen) F8. Skripsi, Fakultas Farmasi Universitas Airlangga.

Leopold I, Gunther D, Schmidt J, Neumann D, 1999. Phytochelatins and heavy metal tolerance. *Phytochemistry* 50: 1323-1328.

Macek T, Macková M, KáŠ J, 2000. Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances*. 18 : 23-34.

Macková M, Macek T, Kucerová P, Burkhard J, Pazlarová J, Demnerová K, 1997. Degradation of polychlorinated biphenyls by hairy root culture of *Solanum nigrum*, *Biotechnol Let*, 19: 787-790

Maksymiec W, 1997. Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica* 34 (3): 321-342.

Meagher RB, 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 3: 153-162.

Menik SW, 1987. Analisis Kadar Logam Berat Cd, Cu, Hg dan Pb pada kerang di Pantai Desa Tepen, Gresik, Secara Spektrofotometri Absorpsi Atom. *Skripsi*, Fakultas Farmasi Unair, Surabaya.

Puspitasari D, 1999. Pengaruh ion Cd^{2+} terhadap pertumbuhan dan kandungan fitosteroid dari kultur pucuk *Solanum mammosum* L. (SM-1). Skripsi, Fakultas Farmasi Universitas Airlangga.

Raskin I, Nanda Kumar PBA, Dushenkov S, Salt DE, 1994. Bioconcentration of Heavy Metals by Plants. Review Article. *Current Opinion in Biotechnology* 5: 285-290.

Razak A, Prawita A, Sugijanto, 1986. Analisis logam berat dalam air sumur sekitar sungai Tambak Oso Surabaya, Kongres Nasional XII dan Kongres Ilmiah VI ISFI di Yogyakarta.

RITE, 1995. Introduction to Biology - Related Projects. Science & Technology in Japan 55: 8-17.

Roedjito, 1994, The trend of water pollution in the Brantas River basin, Second Country Seminar on Urban Environmental Protection Technology in Indonesia, Surabaya

Sahwan, 1995. Analisis Logam Berat Cd, Pb, Cu dan Zn Dalam Damar Pohon Api-Api (*Avicennia Marina* Vierh) di Pantai Kenjeran dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Fakultas Farmasi Universitas Airlangga., Surabaya.

Sugiharto, 1995. Analisis Kadar Logam Berat Cd, Cu, Mn dan Zn dalam Sedimen dan Ikan Gelodok (*Boleophthalmus boddarti* Pallas) di Muara Kali Jagit Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Fakultas Farmasi Universitas Airlangga., Surabaya.

Sugijanto, Hemin HK, Hermawan K, J. Mukono, 1991. Analisis Kadar Hg dan Cd dalam Beberapa Hewan Laut di Muara Sungai Kalimas. *Jurnal PSL Perguruan Tinggi Seluruh Indonesia* 11 (3)

Sugijanto Kartosentono, Nuraida A, Indrayanto G, Zaini NC, 2001. Phytoremediation of Sr^{2+} and its influence on the growth, Ca^{2+} and solasodine content of shoot cultures of *Solanum laciniatum*. *Biotechnol. Lett.* 23: 153-155.

Sugijanto Kartosentono, Indrayanto G, Zaini NC, 2002. The uptake of copper ions by cell suspension cultures of *Agave amaniensis*, and its effect on the growth, amino acids and hecogenin content. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 68: 287-292.

Sugijanto Kartosentono, Suryawati S, Indrayanto G, Zaini NC, 2002^a. Accumulation of Cd^{2+} and Pb^{2+} in the suspension cultures of *Agave amaniensis* and *Costus speciosus* and the determination of the culture's growth and phytosteroid content. *Biotechnol. Lett.* 24: 687-690.

Sugijanto Kartosentono, Suryawati S., Syahrani A., Indrayanto G., Zaini N.C., 2002^b. Fitoremediasi Pb²⁺ serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan kandungan hekogenin kultur suspensi sel *Agave amaniensis*. *Bul. Soc.Nat.Prod.Chem.* 2(1): 20-25.

Sugijanto, Indrayanto G., Zaini N.C., 2002^c. Fitoremediasi dan respon kultur jaringan tanaman *Costus speciosus* terhadap Cu²⁺ dan Pb²⁺. Laporan PHB X/1, Lembaga Penelitian Unair, Surabaya.

Sugijanto, 2003. Akumulasi Cu²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺ dan Sr²⁺, serta studi pertumbuhan, kandungan fitosteroid dan asam amino pada kultur *Agave amaniensis*, *Costus speciosus*, *Solanum laciniatum* dan *Solanum mammosum*. Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya.

Sugijanto, Indrayanto G., Zaini N.C., 2003. Mekanisme Fitoremediasi Zn²⁺ Pada Kultur Jaringan Tanaman *Solanum laciniatum*. Laporan Penelitian IPD, Lembaga Penelitian Unair, Surabaya.

Sugijanto, Indrayanto G., Zaini N.C., 2003^a. Fitoremediasi dan respon kultur jaringan tanaman *Costus speciosus* terhadap Cu²⁺ dan Pb²⁺. Laporan PHB X/2, Lembaga Penelitian Unair, Surabaya.

Sulistyowati, 1999. Pengaruh ion Hg²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺ terhadap pertumbuhan kultur pucuk *Solanum laciniatum* Ait. dan kandungan fitosteroidnya. Tesis, Program Pascasarjana Universitas Airlangga

Turner AP, Dickinson NM, 1993. Copper tolerance of *Acer pseudoplatanus* L.(sycamore) in tissue culture. *New Phytol.* 123 : 523-530.

Zikmundová M, Maléterová Y, Vanek T, 1995. Utilization of Plant Cell Cultures for Bioremediation. In: 43rd Annual Congress on Medicinal Plant Research, Secondary Products-Physiologically Active Compounds. Abstracts of Lectures and Poster Presentations, (p. 43). The Martin-Luther - Universitat Halle, Wittenberg.

DATA PRIBADI

Nama : Prof. Dr. Sugijanto, Apt., MS.

NIP : 130809078

Tempat, tanggal lahir : Madiun, 21 Juni 1954

Agama : Islam

Status perkawinan : Kawin

Nama isteri : Noor Erma Sugijanto, Dra., Apt., MS.

Jumlah Anak : 2 (dua)

Nama anak : 1. Rahmat Hidayat

2. Kurnia Sofia Rosyada

Pangkat/golongan : Pembina Tingkat I / (IV/b)

Jabatan : Guru Besar dalam bidang Ilmu Kimia Farmasi

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. Pendidikan Dasar dan Menengah

Tahun 1966 : Tamat SR Negeri Mojorejo II di Madiun

Tahun 1969 : Tamat SMP Negeri I di Madiun

Tahun 1972 : Tamat SMA Negeri I di Madiun

2. Pendidikan Tinggi

Tahun 1979 : Sarjana Farmasi – Fakultas Farmasi UNAIR

Tahun 1980 : Apoteker – Fakultas Farmasi UNAIR

Tahun 1987 : Magister Sains –Program Studi Ilmu Farmasi
Fakultas Pascasarjana Universitas Airlangga
(sekarang Program Pascasarjana UNAIR)

3. Pendidikan Tambahan:

- Tahun 1981 : Penataran Penggunaan Peralatan Baru, Bayer's Credit-PIU UGM Yogyakarta.
- Tahun 1983 : Kursus Dasar ANDAL (Analisis Dampak Lingkungan) di Univ. Padjadjaran, Bandung.
- Tahun 1987 : Kursus ANDAL Tipe B (Penyusunan Analisis Dampak Lingkungan), di Univ. Padjadjaran, Bandung.
- Tahun 1988 : Program Akta Mengajar Lima, UNAIR-Sby
- Tahun 1991 : Kursus Penanganan Limbah Industri, PAU-Bioteknologi UGM, Yogyakarta.
- Tahun 1995 : International Center for Environmental Technology Transfer (ICETT) Invitation Program for Researcher, Mie University-Tsu, Japan

RIWAYAT PEKERJAAN

- Tahun 1980 : Asisten Ahli Madya, Golongan III/a
- Tahun 1982 : Asisten Ahli, Golongan III/b
- Tahun 1984 : Lektor Muda, Golongan III/c
- Tahun 1986 : Lektor Madya, Golongan III/d
- Tahun 1990 : Lektor, Golongan IV/a
- Tahun 1995 : Lektor Kepala Madya, Golongan IV/a

Tahun 1996 : Lektor Kepala Madya, Golongan IV/b
ADLN - Perpustakaan Universitas Airlangga
Tahun 2001 : Lektor Kepala, Golongan IV/b
Tahun 2003 : Guru Besar, Golongan IV/b

JABATAN STRUKTURAL/TUGAS TAMBAHAN

Tahun 1994-1997 : Sekretaris Jurusan Kimia Farmasi – FFUA
Tahun 1994-1997 : Koordinator Program Pendidikan dan
Pengembangan Lembaga Pengabdian Kepada
Masyarakat (LPKM) UNAIR
Tahun 1997-2000 : Sekretaris LPKM UNAIR
Tahun 2000-2004 : Sekretaris LPKM UNAIR

KEANGGOTAAN PROFESI

Tahun 1980-sekarang : Ikatan Sarjana Farmasi Indonesia (ISFI)
Tahun 1980-sekarang : Ikatan Alumni Universitas Airlangga (IKA
Airlangga)
Tahun 2002-sekarang : Himpunan Kimia Bahan Alam Indonesia

TANDA PENGHARGAAN

Tahun 1988 : Dosen Teladan I Universitas Airlangga

KARYA ILMIAH/JURNAL/PENELITIAN

1. Internasional : 5 judul/buku
2. Nasional : 56 judul/buku

1. Sugijanto, 1995. **Supercritical Water Oxidation of Methanol by Hydrogen Peroxide**, Mie University, Tsu, Japan.
2. Tim PPLH-UNAIR, 1996. **Analisis Dampak Lingkungan, Rencana Pengelolaan dan Rencana Pemantauan Lingkungan Pabrik Peleburan Tembaga Gresik**, PT. Smelting Company, Jakarta.
3. Sugijanto, Fenty Puspitasari, Herlina, Gunawan Indrayanto, 1998. The Influence of Copper and cobalt Ions on The Growth Index and Solasodine Accumulation in Shoot Cultures of *Solanum laciniatum* Ait. **Majalah Farmasi Indonesia** 9 (3): 123-129.
4. Sugijanto Kartosentono, Ana Nuraida, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 2001. Phytoremediation of Sr^{2+} and its influence on the growth, Ca^{2+} and solasodine content of shoot cultures of *Solanum laciniatum*. **Biotechnol. Lett.** 23: 153-155.
5. Sugijanto Kartosentono, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 2002. The uptake of copper ions by cell suspension cultures of *Agave amaniensis*, and its effect on the growth, amino acids and hecogenin content. **Plant Cell Tiss. Org. Cult.** 68: 287-292.
6. Sugijanto Kartosentono, Sinar Suryawati, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 2002. Accumulation of Cd^{2+} and Pb^{2+} in the suspension cultures of *Agave amaniensis* and *Costus speciosus* and the determination of the culture's growth and phytosteroid content. **Biotechnol. Lett.** 24: 687-690.
7. Sugijanto Kartosentono, Sinar Suryawati, Achmad Syahrani, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 2002. Fitoremediasi Pb^{2+} serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan kandungan hekogenin kultur suspensi sel *Agave amaniensis*, **Bull. Soc. Nat. Prod. Chem.** (Indonesia), 2 (1): 20-25.

1. Sugijanto, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 1999. Mekanisme bioremediasi logam berat tembaga pada kultur jaringan tanaman *Agave amaniensis*, Lembaga Penelitian Universitas Airlangga (Dana IPD, 1998).
2. Sugijanto, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 1999. Pengembangan Pemanfaatan Kultur Jaringan Tanaman Untuk Bioremediasi Logam Berat Cu, Cd dan Hg. Lembaga Penelitian Universitas Airlangga (Dana RUT VI, 1998/1999)
3. Sugijanto Kartosentono, Gunawan Indrayanto, Noor Cholies Zaini, 2002. Fitoremediasi dan respon kultur jaringan tanaman *Costus speciosus* terhadap Cu^{2+} dan Pb^{2+} . Lembaga Penelitian Universitas Airlangga (Dana Penelitian Hibah Bersaing X/1, 2002).
4. Sugijanto, Indrayanto G., Zaini N.C., 2003. Mekanisme Fitoremediasi Zn^{2+} Pada Kultur Jaringan Tanaman *Solanum laciniatum*. Laporan Penelitian IPD, Lembaga Penelitian Unair, Surabaya.
5. Sugijanto, 2003. Akumulasi Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} dan Sr^{2+} , serta studi pertumbuhan, kandungan fitosteroid dan asam amino pada kultur *Agave amaniensis*, *Costus speciosus*, *Solanum laciniatum* dan *Solanum mammosum*. Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya.
6. Sugijanto, Indrayanto G., Zaini N.C., 2003. Fitoremediasi dan respon kultur jaringan tanaman *Costus speciosus* terhadap Cu^{2+} dan Pb^{2+} (Dana PHB X/2, 2003).